

直流双臂电桥实验报告

姓名 陆皓喆 学号 2211044 专业 工科试验班（信息科学与技术）

组别 D 实验时间 周二上午 5 月 23 日

一. 实验原理

直流双臂电桥适用范围：

直流双臂电桥适用于测量较小的电阻，如 QJ44 型直流双臂电桥测量范围：

$0.1m\Omega - 11\Omega$ 。

四端法：

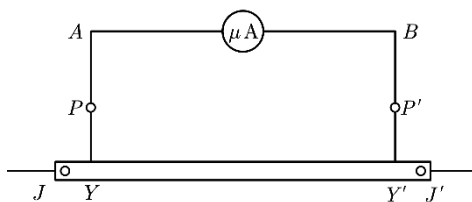


图 1：四端法原理

可以看出，使用图 1 的电路进行测量，在电阻体上 Y, Y' 上两个点焊出两个接头再

与微安表相连接，这样可以保证微安表所连接两点之间的阻值正好为 Y, Y' 之间的阻值，

又 A, B, P, P' 四个点的接触电阻和 AY, BY' 的接线电阻都分给了微安表，保证了分流

的精确。由于电阻被做成了四个接头，故称作“四端结构”。

推导测量公式：

测量电路如图 2（在下一部分中）所示，其中 R_0 为标准低阻， R_x 为待测低阻。四个比例

臂电阻有意做成几十欧姆以上的阻值，因此他们所在桥臂中的接线电阻和接触电阻的影响便

可忽略。注意右边的电阻 R 是为了防止电流过大。当电流计指零时，电桥达到平衡。

由基尔霍夫定律，可以列出方程组：

$$\begin{cases} I_1 R_1 = I_0 R_0 + I'_1 R'_1 \\ I_1 R_2 = I_0 R_x + I'_1 R'_2 \\ (I_0 - I_1) R_r = I'_1 (R'_1 + R'_2) \end{cases}$$

式中 I_1, I_0, I'_1 分别为图中标示，将 (1) 式整理得：

$$R_1 R_x = R_2 R_0 + (R_2 R'_1 - R_1 R'_2) \frac{r}{R_r + R'_1 + R'_2}$$

当电桥的平衡是在保证 $R_2 R_1' - R_1 R_2' = 0$ 的情况下，则上式可以简化为

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_0$$

由此可知此次实验双臂电桥的测量平衡条件为：

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_2'}{R_1'} = \frac{R_x}{R_0}$$

本次实验使用同步调节比例臂电阻 R_2, R_2' 的方法使电流计示零。

画出实验电路图：

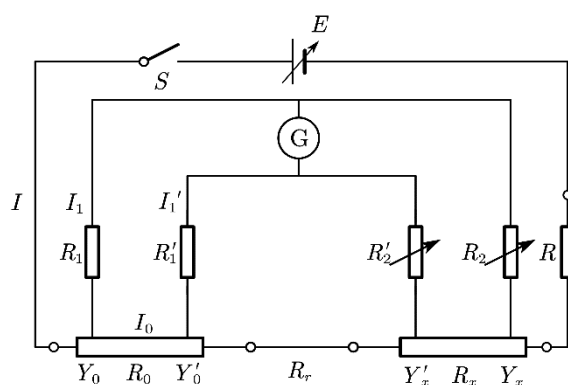


图 2：直流双臂电桥

双臂电桥灵敏度：

双臂电桥平衡后将比例臂电阻 R_2, R_2' 同步调偏 $\Delta R_2 = \Delta R_2'$ ，若电流计示数改变 ΔI ，则灵敏度 S 为：

$$S = \frac{\Delta I}{\Delta R_2 / R_2}$$

由

$$S = \frac{\Delta I}{\Delta R_2 / R_2} = \frac{\Delta I}{\Delta R_x / R_x}$$

可以引入相对误差：

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta I}{S}$$

二. 数据处理

1. 铜棍电阻率的测量:

(1) 铜棍长度 (两个电压接头之间): $l = (467.5 \pm 0.3)mm$

$$u_l = u_{Bl} = \frac{\Delta l}{\sqrt{3}} \approx 0.2887mm \approx 0.3mm$$

(2) 铜棍直径测量:

测量次数	1	2	3	4	5	平均值
直径 (mm)	5.45	5.44	5.45	5.43	5.44	5.442

铜棍直径:

先计算不确定度。该直径分为 A、B 两类不确定度。

$$u_{Ad} = \sigma_{\bar{d}} = t_{(0.683,4)} s_{\bar{d}} = 0.0095mm$$

$$u_{Bd} = \frac{\delta_d}{\sqrt{3}} = 0.0058mm$$

$$u_d = \sqrt{u_{Ad}^2 + u_{Bd}^2} = 0.0111mm$$

所以, 铜棍直径: $d = (5.44 \pm 0.01)mm$

(3) 调节电桥平衡

电桥状态	$R_2 (= R_2')$	R_x	$\Delta R_2 (= \Delta R_2')$	ΔI	S
数据记录	416.2	0.0004	20	0.3	23.24

注: 相关公式下方已经给出:

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_0$$

$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$

R_x 的总相对不确定度为:

$$\rho_x = [(1+k^2)(\rho_2^2 + \rho_1^2) + k^2(\rho_2'^2 + \rho_1'^2) + \rho_0^2 + (\frac{\delta}{S})^2]^{\frac{1}{2}}$$

计算得 $\rho_x = 0.0019$

带入相关数据得, 电阻值为: $R_x = (4.0000 \pm 0.0077) \times 10^{-4} \Omega$

(4) 计算电阻率

$$\rho = \frac{R_x S}{l} = \frac{R_x \pi d^2}{4l} = 2.07 \times 10^{-8}$$

计算不确定度：

$$\frac{u_\rho}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{u_R}{R}\right)^2 + \left(2\frac{u_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{u_l}{l}\right)^2}$$

$$E = \frac{u_\rho}{\rho}$$

得：

$$E = 0.28\%$$

最后得出：铜棍的电阻率为 $(2.070 \pm 0.005) \times 10^{-8}$

2. 铝棍电阻率的测量：

(1) 铝棍长度（两个电压接头之间）： $l = (461.0 \pm 0.3)mm$

$$u_l = u_{Bl} = \frac{\Delta l}{\sqrt{3}} \approx 0.2887mm \approx 0.3mm$$

(2) 铝棍直径测量：

测量次数	1	2	3	4	5	平均值
直径（mm）	5.39	5.4	5.24	5.41	5.41	5.37

铝棍直径：

先计算不确定度。该直径分为 A、B 两类不确定度。

$$u_{Ad} = \sigma_{\bar{d}} = t_{(0.683,4)} s_{\bar{d}} = 0.0834mm$$

$$u_{Bd} = \frac{\delta_d}{\sqrt{3}} = 0.0058mm$$

$$u_d = \sqrt{u_{Ad}^2 + u_{Bd}^2} = 0.0836mm$$

所以，铝棍直径： $d = (5.37 \pm 0.08)mm$

(3) 调节电桥平衡

电桥状态	$R_2 (= R_2')$	R_x	$\Delta R_2 (= \Delta R_2')$	ΔI	S
数据记录	992	0.0010	50	2.8	22.65

注：相关公式下方已经给出：

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_0$$

$$S=\frac{\pi d^2}{4}$$

R_x 的总相对不确定度为:

$$\rho_x=[(1+k^2)(\rho_2^2+\rho_1^2)+k^2(\rho_2'^2+\rho_1'^2)+\rho_0^2+(\frac{\delta}{S})^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{计算得 }\rho_x=0.0019$$

带入相关数据得，电阻值为： $R_x=(10.00\pm0.02)\times10^{-4}\Omega$

(4) 计算电阻率

$$\rho=\frac{R_xS}{l}=\frac{R_x\pi d^2}{4l}=4.81\times10^{-8}$$

计算不确定度:

$$\frac{u_\rho}{\rho}=\sqrt{(\frac{u_R}{R})^2+(2\frac{u_D}{D})^2+(\frac{u_l}{l})^2}$$

$$E=\frac{u_\rho}{\rho}$$

得:

$$E=1.57\%$$

最后得出：铝棍的电阻率为 $(4.81\pm0.08)\times10^{-8}$

3. 铁棍电阻率的测量:

(1) 铁棍长度（两个电压接头之间）： $l=(461.0\pm0.3)mm$

$$u_l=u_{Bl}=\frac{\Delta l}{\sqrt{3}}\approx0.2887mm\approx0.3mm$$

(2) 铁棍直径测量:

测量次数	1	2	3	4	5	平均值
直径（mm）	5.44	5.445	5.45	5.46	5.46	5.451

铁棍直径:

先计算不确定度。该直径分为 A、B 两类不确定度。

$$u_{Ad}=\sigma_{\bar{d}}=t_{(0.683,4)}s_{\bar{d}}=0.0102mm$$

$$u_{Bd}=\frac{\delta_d}{\sqrt{3}}=0.0058mm$$

$$u_d = \sqrt{u_{Ad}^2 + u_{Bd}^2} = 0.0117mm$$

所以，铁棍直径： $d = (5.45 \pm 0.01)mm$

(3) 调节电桥平衡

电桥状态	$R_2 (= R_2')$	R_x	$\Delta R_2 (= \Delta R_2')$	ΔI	S
数据记录	16810	0.0168	300	1.6	23.24

注：相关公式下方已经给出：

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_0$$

$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$

R_x 的总相对不确定度为：

$$\rho_x = [(1+k^2)(\rho_2^2 + \rho_1^2) + k^2(\rho_2'^2 + \rho_1'^2) + \rho_0^2 + (\frac{\delta}{S})^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{计算得 } \rho_x = 0.0019$$

带入相关数据得，电阻值为： $R_x = (168.0 \pm 0.3) \times 10^{-4} \Omega$

(4) 计算电阻率

$$\rho = \frac{R_x S}{l} = \frac{R_x \pi d^2}{4l} = 83.91 \times 10^{-8}$$

计算不确定度：

$$\frac{u_\rho}{\rho} = \sqrt{(\frac{u_R}{R})^2 + (2\frac{u_D}{D})^2 + (\frac{u_l}{l})^2}$$

$$E = \frac{u_\rho}{\rho}$$

得：

$$E = 0.29\%$$

最后得出：铁棍的电阻率为 $(83.91 \pm 0.24) \times 10^{-8}$